

操作的思考による演繹推論の促進

—「知識の検証による学習」モデルの提案—

Facilitation of Deductive Reasoning by Operational Thinking
: A Proposal of ‘Learning through Verification of Knowledge’ Model

植原 俊晴, 川上 綾子

UEHARA Toshiharu and KAWAKAMI Ayako

鳴門教育大学学校教育研究紀要

第31号

Bulletin of Center for Collaboration in Community
Naruto University of Education
No.31, Feb., 2017

操作的思考による演繹推論の促進 —「知識の検証による学習」モデルの提案—

Facilitation of Deductive Reasoning by Operational Thinking : A Proposal of 'Learning through Verification of Knowledge' Model

植原 俊晴*, 川上 綾子**

* 〒673-1494 兵庫県加東市下久米 942-1 兵庫教育大学大学院 連合学校教育学研究科

** 〒772-8502 鳴門市鳴門町高島字中島 748 番地 鳴門教育大学

UEHARA Toshiharu* and KAWAKAMI Ayako**

* The Joint Graduate School (Ph.D. Program) in Science of School Education, Hyogo University of Teacher Education
942-1 Shimokume, Kato-shi, Hyogo 673-1494, Japan

** Naruto University of Education
748 Nakajima, Takashima, Naruto-cho, Naruto-shi, 772-8502, Japan

抄録：小・中学校の科学教育において、科学的に探究する能力を育てるには、演繹推論と帰納推論とともに発達させる必要があると考えられる。しかしながら、理科や数学科、社会科における教科書の記述内容からは、この段階の科学教育では帰納推論に基づいた学習活動に偏っている傾向が認められた。そこで、本稿では学習者の演繹推論を促す学習活動を提案することを目的とする。

先行研究に基づき、操作的思考を促された学習者の問題解決の過程を検討したところ、これらの学習者は科学的知識を構成する概念間の関係を明確に理解し、経験的に構成されたメンタルモデルを抑制して科学的知識を前提とする演繹推論を働かせていることが示唆された。このことを踏まえて、科学的知識から導かれる必然的な帰結や、実験や観察、調査などの事実から知識の蓋然性の検証を要するプロセスを組み込んだ学習活動として「知識の検証による学習」モデルを提案した。

キーワード：演繹推論, 操作的思考, 科学教育, 知識の検証による学習

Abstract : In science education of elementary and junior high school, the development of deductive and inductive reasoning seems to be necessary for acquisition of the ability for scientific inquiry. However, it was shown that the learning in these educational stages tended to be biased toward inductive reasoning from the analysis of textbooks of science, mathematics and social study. Therefore, the aim of this paper is to propose the learning model that promotes learner's deductive reasoning in science education.

Examining the processes of problem solving of learners that were trained to operational thinking, these learners seemed to use deductive reasoning that was premised scientific knowledge by clear understanding of the relation among concepts in scientific knowledge and control of their mental models empirically constructed. Based on these results, we proposed the 'learning through verification of knowledge' model that introduced the process of verifying the inevitable result derived from scientific knowledge and the probability of knowledge through the fact that obtained in experiments, observations and surveys.

Keywords : deductive reasoning, operational thinking, science education, learning through verification of knowledge

I. 問題と目的

科学的探究の過程は演繹、帰納、アブダクションの各推論から成り立っており、これらの推論は科学的探究の過程における三段階を形成するとされている。具体的には、第一段階がアブダクション、第二段階が演繹推論、第三段階が帰納推論である(米森, 2011)。したがって、科

学的に探究する能力を育成することを目的とする学習活動は、ある現象がなぜ起こったかについて説明可能な仮説を考え出すことから出発し(アブダクション)、その仮説から論理的必然性のある帰結を導出した後(演繹推論)、それらの帰結が経験的に正しいことをテストし、その蓋然性を確認する(帰納推論)段階を経ることが望ましいと考えられる。

しかしながら、アブダクションは、①意外な事実 q に関してそれを説明し得ると考えられる仮説 p を発案し、②そして仮説 p と意外な事実 q の間に「 p が真であれば、 q は当然の事柄であろう」と言える関係が成り立つならば、③仮説 p は真らしいと考えなくてはならない推論であるとされている(米森, 2011)。つまり、アブダクションの①や③の段階は帰納的であり、②の段階は演繹的であると思われる。したがって、アブダクションは演繹推論と帰納推論を内包しており、その発達には演繹推論と帰納推論の熟達化が必要であると考えられ、小・中学校における科学教育では、主に演繹推論と帰納推論の発達を目的とすることが必要であると思われる。

ところで、学習指導要領(文部科学省, 2008)によると、社会科の内容として、例えば「地域の人々の生産や販売について、次のことを見学したり調査したりして調べ、それらの仕事に携わっている人々の工夫を考えるようにする」(小学校)や「我が国の歴史上の人物や出来事について調べたり考えたりするなどの活動を通して、時代の区分やその移り変わりに気付かせ、歴史を学ぶ意欲を高めるとともに、年代の表し方や時代区分についての基本的な内容を理解させる」(中学校)などが列挙されており、見学や調査を通して理解を図るという点でその多くが共通している。

また、理科についても、「物を燃やし、物や空気の変化を調べ、燃焼の仕組みについて考えをもつことができるようにする」(小学校)や「生物の体は細胞からできていることを観察を通して理解させる」(中学校)など、実験・観察を通して理解を図るという内容の記述が多い。

さらには、算数・数学科でも、「図形についての観察や構成などの活動を通して、図形の構成要素及びそれらの位置関係に着目し、図形についての理解を深める」(小学校)や「観察、操作や実験などの活動を通して、円周角と中心角の関係を見いだして理解し、それをを用いて考察することができるようにする」(中学校)などとあり、図形を扱う領域において、観察・実験を通して理解を図るという点で共通している。また、関数の領域でも「二つの数量の変化や対応を調べることを通して」という記述が見られた(中学校)。

これらの事実は、小・中学校における学習活動に対して、学習指導要領が帰納的手続に依る方法を求めていることを意味している。このことより、小・中学校の科学教育では帰納推論に基づく学習活動が多く行なわれていると推察される。

以上の議論を踏まえ、本稿では、まず小・中学校の科学教育における推論形式の特徴を教科書の記述を手掛かりに捉える。なぜなら、実際の小・中学校の学習活動は教科書に基づいてデザインされているからである。そして、推論の形式的特徴が上記の推察通り帰納的手続に

偏っていることが明らかになれば、科学的に探究する能力を育成する観点から、小・中学校の科学教育において演繹推論と帰納推論をとともに発達させる学習モデルについて考察することを試みる。

II. 科学教育における推論形式の特徴

小・中学校で行われている科学教育の学習活動において、学習者が働かすと考えられる推論の形式を理科や算数科、社会科の教科書の記述内容に基づいて検討した。

まず、小学3年生の理科における「電気を通すもの」についての学習では、クリップやはさみ、下じきなど様々なものが電気を通すかどうかを調べた上で、電気を通すものとそうでないものに区別し、図1に示すような推論を経て「金属は電気を通す」という結論を導くことを想定していると思われる。

事例1	クリップは電気を通す。
事例2	はさみの刃の部分は電気を通す。
帰 結	金属のできているものはすべて電気を通す。

図1 「電気を通すもの」における推論

また、小学5年生の算数における「三角形の角の大きさの和」についての学習では、まず、1つの角の大きさを 90° に固定した三角形で、残りの角の一方を 60° 、 50° 、 40° と順に小さくしていくときの最後の角の大きさを分度器で測り、3つの角の大きさの和をそれぞれの場合について求めさせている。次に、1つの角の大きさを 60° に固定した三角形で、同様に 80° から順に小さくしていくときの最後の角の大きさを測り、3つの角の和をそれぞれ求めさせ、図2に示すような推論を経て「どんな三角形でも、3つの角の大きさの和は 180° である」という結論を導くことが想定されている。

事例1	1つの角が 90° の三角形の3つの角の大きさの和は 180° である。
事例2	1つの角が 60° の三角形の3つの角の大きさの和は 180° である。
帰 結	どんな三角形でも、3つの角の大きさの和は 180° である。

図2 「三角形の角の大きさの和」における推論

さらに、中学3年生の「市場のしくみと価格の決まり方」についての学習では、旅行代金カレンダーが示している海外旅行のパンフレットやきゅうりの入荷量と平均価格や薄型テレビの出荷台数と平均単価を示したグラフ、野菜の価格の変化を示した新聞記事から価格の変化を読み取り、「需要と供給により価格は決まる」という一般法則へ導くことが想定されている。ここでも、やはり図3

のような帰納推論によって一般化がなされていると考えられる。

事例 1	旅行代金は年末年始や休日が高く、平日は安い。
事例 2	きゅうりは入荷量の多い旬の時期が安く、入荷量の少ない時期は高い。
事例 3	薄型テレビは出荷台数が多くなるにつれ、価格が下がっている。
事例 4	白菜やナスは豪雨の影響で高くなっている。
帰 結 需要と供給により価格は決まる。	

図 3 「市場のしくみと価格の決まり方」における推論

このような例を挙げると、枚举にいとまがないことから、小・中学校における学習活動は、実験や観察をしたり、資料などを利用したりすることで、獲得させたい科学的知識に関わる事例をいくつか集めること（場合によっては一事例のみ）から始まり、事例どうしを比較して共通点や異なる点を見つけることで、一般法則を導き出すようにデザインされることが多く、帰納推論に基づいた学習活動が主に行なわれていると思われる。つまり、小・中学校で行われている科学教育の学習活動は帰納推論に基づいたものに偏っている傾向があると考えられる。

しかしながら、科学的に探求する能力を育成する観点からは、演繹推論と帰納推論をともに発達させる必要があると言える。したがって、小・中学校の科学教育においては、帰納推論のみならず、演繹推論に基づいた学習活動を導入した授業をデザインし、実践する必要があると考えられる。

Ⅲ. 操作的思考と演繹推論

1. 操作的思考

工藤（2010）は、操作的思考を「心的表象の変換操作に基づく思考」と定義している。したがって、操作的思考を促すことができる科学的知識は「金属は電気を通す」や「企業間の競争により価格は変化する」など命題化し得るものに限られ、「金属」や「価格」などの概念名辞はその対象に含むことはできない。

また、工藤（2010）は、操作的思考を大きく「変数操作的思考」、「関係操作的思考」、「抽象度操作的思考」の3種類に分ける案を提案している（表1）。これら3種類の操作的思考について「企業間の競争により価格は変化する」という科学的知識に即して具体的に説明する。

まず、変数操作的思考は、この命題の前件「企業間の競争」の変動値を固定（変動方向を仮定）し、命題化するような思考である。例えば、「企業間の競争」を「ある」と仮定すれば、「企業間の競争があるので価格は下がる」という命題を導き出すような思考のことである。また、上述の命題で、「企業間の競争が激しい」のように変動幅を変化させたり、「企業間の競争がない」と変動値を逆転させたりすると、それぞれ「企業間の競争が激しいので価格はもっと下がる」や「企業間の競争がないので価格は上がる」という命題を導くことができる。つまり、これらの思考も変数操作的思考である。したがって、変数操作的思考は、科学的知識を構成する概念（事象）、変数間の数量的関係の操作に特化した思考とすることができる。

次に、関係操作的思考は、命題によっては、後件肯定の誤謬を犯す恐れもあるが、「安価であれば企業間の競争がある」という命題を導く操作のことである。その他にも、「企業間の競争があるかどうかは、価格を調べれば分かる」や「価格が下がる原因は、企業間の競争によるものである」などの命題を導く思考も関係操作的思考と言える。つまり、関係操作的思考は、「企業間の競争」と「価格の変化」の数量的関係を操作するのではなく、概念間（事象間）の因果関係など関係性そのものを操作する思考であると言え、「種子植物なら花が咲く」のような数量的関係を含まない命題についても操作することが可能である。

最後に、抽象度操作的思考は、命題の変数項に具体例や数値を代入することで、「競争相手が1店舗増えたので、価格が10円下がった」というような抽象度の低い具体命題を導いたり、先に述べた命題と「競争相手が1店舗減ったので、価格が10円上がった」という具体命題を組み合わせ、抽象度の高い「企業間の競争により価格は変

表 1 ルール命題と操作的思考

操作的思考	操作の分類	内 容	操作的思考課題
変数操作的思考	裏操作	変数値ないし値の変動方向の逆転	裏操作課題
	変動値操作	変動方向を維持した変数値の変動幅の変化（量的ルール）	変動値操作課題
	固定値操作	変動方向を仮定した命題化（特に数式） 変数値の固定（量的ルール）	固定値操作課題
	特異値操作	変数値の固定による命題化（特に数式） 変数値の極端な変動（量的ルール）	特異値操作課題
関係操作的思考	逆操作	関係項の方向の逆転	逆操作課題
	手続き化操作	目的－手段関係の表現	手続き化課題
	手がかり化操作	判断の証拠や手がかりの表現	手がかり化課題
抽象度操作的思考	因果操作	因果関係の表現	因果操作課題
	代入操作	変数項への具体例の代入	代入操作課題
	上位ルール化操作	複数のルールの組み合わせによる上位ルールの生成	上位ルール化課題

注）工藤（2010）を改変し、「操作的思考課題」の分類名を著者が加筆した。

化する」というような命題を導いたりする操作と言える。前者の操作は、代数の式や公式を用いて、未知の値を求める処理でよく使われており、後者の操作は、自然科学や社会科学において、いくつかの事例から帰納的に科学的知識を一般化する過程で用いられている。

これらの操作的思考は、操作の対象が科学的知識を構成する概念（事象）や変数間の関係という点で一致しているものの、どのような操作を行わせるかという点で差異があると言える。したがって、促進させる思考の種類により、知識の一般化や転移に及ぼす影響は異なると考えられる。

2. 操作的思考の促進

事象 p と q の関連について、学習者が十分な論理的検証を行わないまま、事象 p と q との間に共変関係がないにもかかわらず誤って共変関係があると判断したり（関係の過大評価）、共変関係があるにもかかわらず誤って共変関係はないと判断したり（関係の過小評価）することが知られている（Gilovich, 1991; Jennings, Amabile, & Ross, 1982）。

佐藤（2008）は、「 p ならば q である（ただし、 $p \equiv q$ ）」という命題が提示されても、学習者は事象 p と q の間に密接な共変関係があると解釈しないため、「 p であっても q でない場合もある」など、本来妥当性を付与されるべきでない命題にも一定の妥当性を付与してしまう可能性について検証している。具体的には、大学生に「企業間に競争があれば商品の価格は下がる」という命題を示した読み物を与え、この命題に対する信頼度を調査している。その結果、命題提示直後の調査で、「企業間に競争はあるが商品の価格は下がる」など、提示した命題を支持しない命題にも一定の妥当性を付与することが示唆されている。さらに、佐藤（2008）は、「企業間に競争があれば商品の価格は下がる」という命題に関して、この命題を支持しない命題について妥当性の低減情報を示した読み物を与えた後、提示した命題の信頼度や適用について調査している。その結果、「企業間の競争」と「価格の変化」の関係性について積極的に判断させることで、提示した命題の信頼度が上昇し、命題の適用も促進されるという示唆を得ている。

また、麻柄・進藤（2011）は、「日本海を通過するとき季節風は、その距離に応じた量の水蒸気を吸い込み、日本海側に雪を降らせる」という命題を取り上げ、この命題に関わる操作的思考を促し、それが問題解決場面における当該命題の適用に及ぼす影響について大学生を対象に検討している。具体的には、「季節風が、大陸との距離がとても長い日本海の上空を通過して日本にやってくる場合」のあとに続く語句を「降る雪の量は多くなる・少なくなる・ほとんど変わらない」の中から選択するような、降雪量に関わる命題の操作的思考を要する課題（以

下、「操作的思考課題」と記す）を行わせている。その結果、大学生の場合には、このような課題を実際に行わせたり、その課題の結論を示したりすることにより、問題解決場面でこの命題の適用が促進されるという知見を得ている。

これらのことから、「 p ならば q である」という命題が成立するとき、佐藤（2008）では、単に $p \rightarrow q$ を教示しただけでは考慮されにくい、 $p \rightarrow \text{非} q$ や $\text{非} p \rightarrow q$ など別の命題に着目させるとともに、これらの命題の妥当性を減じることで、また、麻柄・進藤（2011）では、事象 p と q の対応関係を導く経験を積むことにより、学習者の科学的知識（提示した命題）に対する信頼度が上昇したり、問題解決場面において科学的知識の適用が促進されたりしたと推察される。

3. 問題解決のプロセス

ここからは、問題解決場面における科学的知識の適用プロセスについて考えてみる。佐藤（2008）で教示された知識（命題）は「企業間に競争があれば商品の価格は下がる」であった。それに対する問題は、札幌から小樽間は JR と並行して高速道路が通っているという情報を図で提示した上で、「札幌から余市までを JR で移動するとき、直通の切符を買うよりも、途中の小樽まで切符を買って下車し、小樽から余市までの切符を買って乗車し直した方が安くなるのはなぜか」を問うものであった。

この問の正答は、「札幌と小樽間で JR と高速バス等の競争が生起し、その区間の運賃が安くなっているから」とされており、このように記述できていれば、「企業間に競争があれば商品の価格は下がる」という知識を学習者が適用できたとみなしている。

この問に正答するには、単純な知識の適用のみでは不十分であり、与えられた「JR と高速バスの間に競争がある」という情報に基づき、知識を操作することが必要である。つまり、学習者は問題解決の過程で、図 4 に示するような演繹推論を働かせていると推察される。

また、この知識を構成する「企業間の競争」と「商品の価格」の間に密接な関係があることを理解していなければ、問題解決に必要な情報を与えられたとしても、この知識を操作できないので、「JR の運賃は安くなる」という帰結を導き出すことは難しいと思われる。つまり、図 4 のような演繹推論が可能となるには、当該の科学的知識を構成する概念間の関係を十分に把握しておく必要があると考えられる。

命 題	企業間に競争があれば商品の価格は下がる。
情 報	JR と高速バスの間に競争がある。
帰 結	ゆえに、JR の運賃は安くなる。

図 4 命題に基づく演繹推論

次に、麻柄・進藤（2011）で提示された命題の問題解決に対する適用過程を考えてみる。まず、取り上げられた「日本海を通過するとき季節風は、その距離に応じた量の水蒸気を吸い込み、日本海側に雪を降らせる」という知識（命題）は2種類の知識が入れ子になっていると考えることができる。つまり、取り上げられた知識は、「季節風に含まれる水蒸気量により日本海側の降雪量は変わる」という高次の命題があり、その前件部分の「水蒸気量」が変化する要因の1つを「日本海を通過する距離により季節風に含まれる水蒸気量は変化する」という低次の命題で表されていると捉えることができる。

そして、取り上げられた知識に対する問題は3種類あり、それぞれについて地名と季節風の方向を示した日本周辺の地図が情報として与えられていた。3つの問題解決の過程を、実際に用いられた問題に即して考えてみる。

1つめの問題は、「雪まつりがあれば降雪量が多い」という誤った知識（誤前提）に基づいた質問に対して、どのように答えるかを尋ねており、正答はこの前提を否定することとされている。確かにこの知識に基づいて、図5のような演繹推論は可能であり、その帰結は論理的に誤りではない。しかし、このような演繹推論は、命題が真であれば帰結も真であると言えるが、命題が偽であれば帰結は真とは言えない。つまり、この問題では前提となっている知識が誤っていることを指摘し、図5のような推論そのものを抑制する必要がある。このような問題を工藤（2008）は「誤前提課題」と呼んでおり、知識の関連づけを促進する教授の効果を鋭敏に検出できることを示唆している。

誤前提	雪まつりがあれば降雪量が多い。
情報	札幌で雪まつりが行われる。
帰結	ゆえに、札幌の降雪量が多い。

図5 誤った前提に基づく演繹推論

2つめの問題は、小樽と金沢の降雪量について、①「北海道で寒いから小樽が多い」、②「日本海でたくさん水蒸気を吸った季節風がやってくるから金沢が多い」、③「どちらも日本海側にあるから変わらない」から正しい考えはどれかを尋ねており、正答は②である。②には「水蒸気量が多ければ、日本海側の降雪量が多い」と同様のことが記述されており、この問題の解決過程において、学習者は必ずしも演繹推論をする必要はない。つまり、「水蒸気量」と「降雪量」の関係性を明確に捉えていない学習者でも、「季節風に含まれる水蒸気量により日本海側の降雪量は変わる」と似た内容が記されている選択肢を選べば、この問題の解決は可能と言える。

3つめの問題では、例えば、留萌と福井では降雪量が多いのはどちらかを尋ねており、正答は福井である。こ

の時、地図から得られる情報をもとに、学習者は図6に示すような2段階の演繹推論を働かす必要があると推察される。したがって、この問題を解決するために、学習者は「日本海を通過する距離」と「水蒸気量」の関係、並びに「水蒸気量」と「降雪量」の関係をそれぞれ明確に捉える必要があると考えられるのは、前述の通りである。

命題2	日本海を通過する距離により季節風に含まれる水蒸気量は変化する。
情報	季節風が福井まで来るとき、日本海を通過する距離は長い。
帰結1	ゆえに、福井に来る季節風の水蒸気量が多い。
命題1	季節風に含まれる水蒸気量により日本海側の降雪量は変わる。
帰結1	福井に来る季節風の水蒸気量が多い。
帰結2	ゆえに、福井の降雪量が多い。

図6 2つの命題に基づく2段階の演繹推論

麻柄・進藤（2011）の調査の結果、1つめの問題では、操作的思考課題を課した群で有意に正答者数が多く、そうでない群では正答者数が少ないという結果が得られている。メンタルモデル理論（Johnson-Laird, 1983）によると、過去の習慣や経験によって自動的に構成されるモデルが優先されるとされており、この場合、「雪まつり」＝「降雪量が多い」というモデルが経験的に構成されやすいと考えられる。一方、メンタルモデルに反する推論ができるためには、自動的に構成されたメンタルモデルを抑制することが必要であるとされている（Markovits & Barrouillet, 2002）。つまり、「水蒸気量」を媒介として「季節風が日本海を通過する距離」と「降雪量」との関係性を理解することが経験的なメンタルモデルを抑制し、「雪まつり」と「降雪量」との関係性を否定させると考えられる。したがって、操作的思考課題を課した群で正答者数が多いという結果は、操作的思考を促すことで、「季節風が日本海を通過する距離」と「水蒸気量」、「水蒸気量」と「降雪量」の関係性を、学習者が明確に捉えていることを支持しており、一般に、操作的思考を促すことは、学習者が命題に含まれる概念間の関係性について理解することを促進させると考えられる。

さらに、2つめの問題については両群間で正答者数に差はなく、3つめの問題では操作的思考課題を課した群で正答者数が多いという結果が得られている。この事実は、知識を構成する概念間の関係が明確になることで、学習者の演繹推論が促進されることを支持していると思われる。

以上のことをまとめると、学習者は操作的思考を促されることにより、科学的知識を構成する概念間の関係を明確に理解できるようになる。その結果、学習者は科学

的知識を前提とする演繹推論を促され、その推論形式で問題解決を図ると推察される。

IV. 演繹推論を促す学習活動

以上より、操作的思考課題を用いて学習者の操作的思考を促すことにより、学習者は科学的知識を前提とした演繹推論を実行しやすくなることが示唆された。したがって、ここでは、小・中学校における科学教育の授業で操作的思考課題を導入した学習活動を行い、その中で学習者の演繹推論を促し、科学的知識を獲得させる方法について検討する。

なお、麻柄・進藤（2011）の結果は、1つめと3つめの問題では操作的思考課題を課した群で正答者数が多く、2つめの問題では群間で差がないことから、科学的知識を構成する概念間の関係を理解しているかどうかによって、科学的知識の理解水準が質的に異なることを示唆している。つまり、概念間の関係を捉えた上で科学的知識を理解できる方が、より高次の水準であると思われる。したがって、ここで検討する方法は、より高次の水準での科学的知識の理解を目指すものである。その学習モデルを図7に示す。

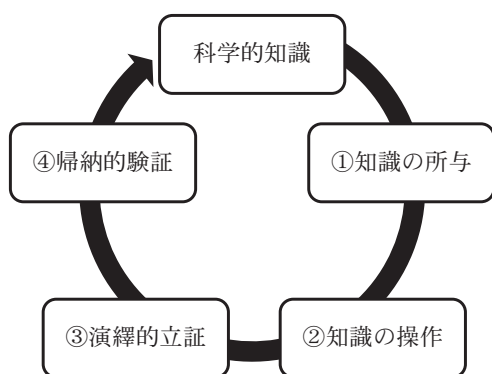


図7 知識の検証による学習

この学習モデルでは、まず、科学的知識が命題として教示されるところから学習活動が始まる（①知識の所与）。しかしながら、学習者は多くの既有知識を持っているため、科学的知識を単に教示しただけでは、例外への懸念（麻柄、2006）や判断の不確定性（佐藤、2008）、概念名辞のまくら言葉化（麻柄・進藤、2015）など、その要因は様々に概念化されているが、いずれにしても、科学的知識が学習活動で使用される可能性は低いと考えられる。

例えば、ナトリウムやカルシウムは、これらが金属であると推察できる十分な情報を与えられた大学生でも、電気を通すと判断できないことが知られている（伏見、2013）。この事実、学習者が与えられた情報に基づいてナトリウムやカルシウムを金属に帰属できないことや、

あるいは正しく金属に帰属できた場合でも、知識を教示されただけではその知識を操作できないことを示している。

そこで、操作的思考課題を導入した科学的知識の読み取りの段階を設定する（②知識の操作）。前述した通り、操作的思考を促すことにより、学習者は科学的知識を構成する概念間の関係を明確に理解することで、知識に対する信頼度が大きくなるとともに、この知識を使用しない要因は小さくなると考えられる。

この状態で、いくつかの事例について予想させれば、学習者は科学的知識を用いて演繹的にどのような結果になり得るかを推論できると思われる（③演繹的立証）。

最後に、実験や観察をしたり、資料を読み取ったりすることで収集された事実により、科学的知識の蓋然性を確かめる段階を設ける。この過程で、学習者は帰納推論を働かせることにより、当該の科学的知識が経験的にも正しいと言えることを確かめられる（④帰納的検証）。したがって、このようなプロセスを要する学習モデルは、科学的探求の過程で必要とされる演繹推論と帰納推論を促進すると考えられる。

ここで提案した学習モデルは、学習者の科学的知識に対する信頼度を高めた上で、その知識を演繹的、帰納的方法で検討することが主たる目的である。つまり、この学習活動では、科学的知識から導かれる必然的な帰結や、実験や観察そして調査などの結果と照らし合わせて知識の蓋然性を検証しているので、「知識の検証による学習」と呼ぶこととした。

1. 金属が電気を通すことを教示する（知識の所与）。
2. 金属でできているかどうかという情報を示した上で、金属でできているものとそうでないものが、電気を通すか考えさせる（知識の操作）。
3. 実験で調べるものについて、電気を通すか予想させる（演繹的立証）。
4. 実験を通して、電気を通したものとそうでないものに分類させる（帰納的検証）。

図8 「電気を通すもの」に関する学習活動のデザイン

この学習モデルに依り、図8のような学習活動がデザインできる。これは、前述の小学校理科「電気を通すもの」に関する学習に即して示しているが、その他の学習活動への適用も可能であると思われる。このような学習活動を繰り返し行うことにより、学習者の帰納推論だけではなく、演繹推論も促進できると考えられる。

V. おわりに

本稿では、小・中学校の科学教育における学習活動が帰納推論に基づくものに偏っており、科学的探究の過程に必要である演繹推論が不十分な傾向にある実態を明ら

かにした。また、所与の知識に基づく演繹推論を可能とするには、学習者が科学的知識を使用しない要因を減じる必要があり、その1つの方法として、操作的思考課題を学習活動に導入することが効果的であることを述べた。最後に、これらの議論を踏まえ、学習者の演繹推論と帰納推論を促進させることを目的とした学習活動モデルを提案した。

今後の課題として、本稿で提案した学習モデルをもとにした授業を小・中学校において実践することを通じて、提案したモデルの妥当性を検証するとともに、学習内容と操作的思考課題の組み合わせなど、操作的思考課題を導入する際の種々の条件を検討する必要がある。

引用文献

- 伏見陽児 (2013) ルール学習と提示事例, 東北大学出版会.
- Gilovich, T. (1991) *How we know what isn't so : The fallibility of human reason in everyday life*, New York : FreePress.
- 林敏彦・藤井譲治・水内俊雄他 (2016) 中学社会公民的分野, 日本文教出版.
- 一松信・岡田禎雄他 (2015) みんなと学ぶ小学校算数5年, 学校図書.
- Jennings, D. L., Amabile, T. & Ross, L. (1982) *Informal covariation assessment: Data-based versus theory-based judgments, Judgment under uncertainty: Heuristics and biases*, Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. H. (1983) *Mental models*, Harvard University Press.
- 工藤与志文 (2010) ルール学習と操作的思考: 概観と展望, 教授学習心理学研究, 6(1), pp.29 - 41.
- Markovits, H., & Barrouillet, P. (2002) The development of conditional reasoning: A mental model account, *Development Review*, 22, pp.5-36.
- 麻柄啓一 (2006) 例外への懸念がルール学習に及ぼす影響, 教育心理学研究, 54(2), pp.151 - 161.
- 麻柄啓一・進藤聡彦 (2011) ルール命題の操作による問題解決の促進, 教育心理学研究, 59(1), pp.1 - 12.
- 麻柄啓一・進藤聡彦 (2015) ルール表象はなぜ成立しにくいのかー抽象的な概念名辞の「まくら言葉化」ー, 教育心理学研究, 63(3), pp.267 - 278.
- 文部科学省 (2008) 小学校学習指導要領.
- 文部科学省 (2008) 中学校学習指導要領.
- 毛利衛・黒田玲子他 (2015) 新編新しい理科3年, 東京書籍.
- 佐藤淳 (2008) ルール適用の促進を意図した「判断の不確定性」低減方略, 教育心理学研究, 56(1), pp.32 - 43.
- 米森裕二 (2007) アブダクション仮説と発見の論理, 勁草書房.

